

Verfahren zur Bestimmung der Position und Drehlage eines Objektes

Publication number: DE19812609

Publication date: 1999-10-28

Inventor: BRAUNECKER BERNHARD (CH); AEBISCHER BEAT (CH); APPIUS RAPHAEL (CH)

Applicant: LEICA GEOSYSTEMS AG (CH)

Classification:

- international: **G01B11/03; G01C15/00; G01S5/16; G01B11/03; G01C15/00; G01S5/00; (IPC1-7): G01B11/03; A01C19/04; A61B19/00; F41A21/00; G01B11/24; G01C5/00; G02B21/00**

- european: G01C15/00; G01S5/16B

Application number: DE19981012609 19980323

Priority number(s): DE19981012609 19980323

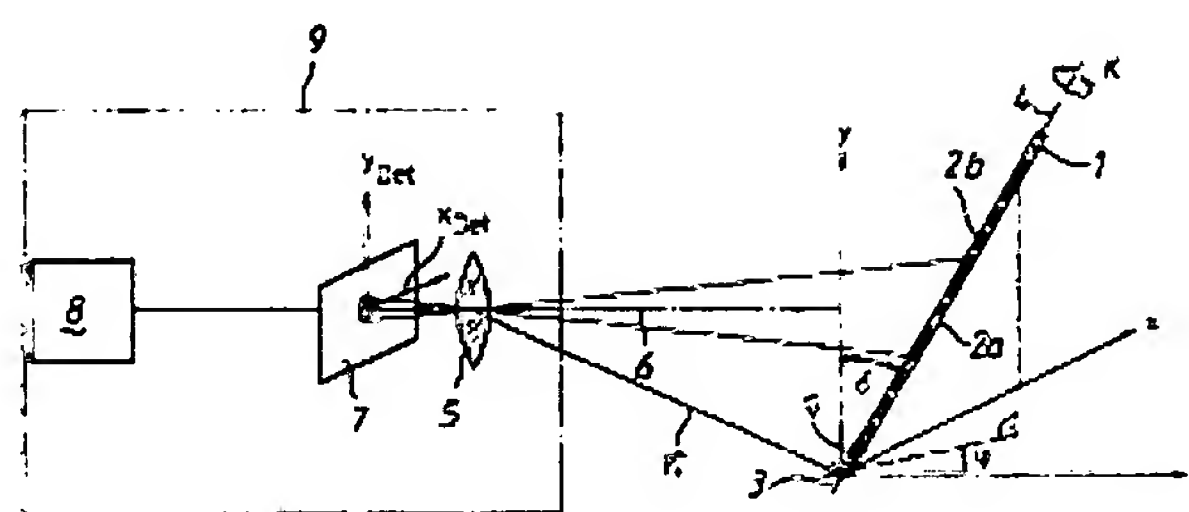
Also published as:

WO9949280 (A1)
EP1066497 (A1)
EP1066497 (A0)
CA2324220 (A1)
EP1066497 (B1)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE19812609

The invention relates to a method for determining the spatial and rotational positions of an object (1). With the assistance of an imaging optical system (5), the object (1) is mapped and detected on a high-sensitivity resolution optoelectronic detector (7). The location parameter of the object (1), such as the position vector ($r_{0?}$), the direction vector (v) of the object axis (4), and the angle (κ) of rotation of the object (1) around the object axis (4) is determined from the planar position of the mapped object structures (2a; 2b) in the coordinate system (x_{Det} , y_{Det}) of the detector (7) by means of geometric optical relationships and mathematical evaluation methods. With this, the spatial position of the object (1) is determined in a quick and contactless manner.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



① **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**
② **Patentschrift**
③ **DE 198 12 609 C 2**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

④ Int. Cl.⁷:
G 01 B 11/03
G 01 C 5/00
A 61 B 19/00
F 41 A 21/00

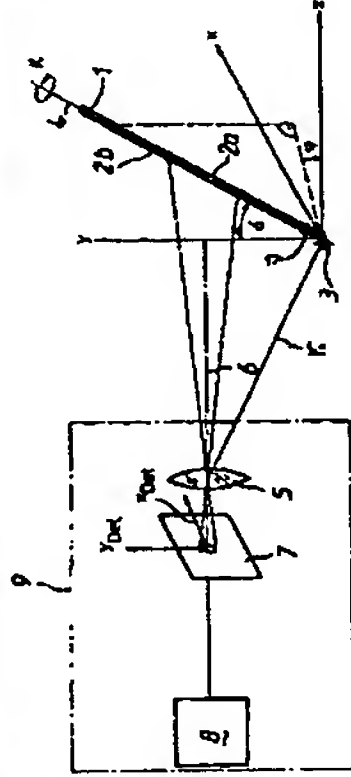
⑤ Aktenzeichen: 198 12 609.3-52
⑥ Anmeldetag: 23. 3. 1988
⑦ Offenlegungstag: 28. 10. 1989
⑧ Veröffentlichungstag: 13. 12. 2001
der Patenterteilung:

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑨ Patentinhaber: Leica Geosystems AG, Heerbrugg, CH	⑩ Erfinder: Braunecker, Bernhard, Dr., Rebstein, CH; Aebischer, Beat, Heerbrugg, CH; Appius, Raphael, Berneck, CH
⑪ Vertreter: Stamor, H., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 36578 Wetzlar	⑫ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckchriften: DE 44 98 759 C1 US 54 40 392 G. NAGY, A. FALSAFI: "Using Vanishing Points to Locate Objects with six degrees of Freedom" in: E. S. Gelsema, L. N. Kanal (Hrsg.): Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Proceedings of an International Workshop, Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1988, S. 123-139; H. S. STIEHL, H. R. KRAFT: "Sichtsystem für Industrieroboter" in: Handbuch der modernen Datenverarbeitung, 21. Jg. H. 115, Fortkel-Verlag, 1984, S. 85-90;

⑬ **Verfahren zur Bestimmung der Position und Drehlage eines Objektes**

⑭ Verfahren zur Bestimmung der Position und Drehlage eines Objektes (1) mit bekannten Objektstrukturen im dreidimensionalen Raum unter Verwendung eines optischen Maßkopfs (9, 9a, 9b, 9c) mit einer Abbildungsoptik (5), einem in zwei Dimensionen ortsauffasenden optoelektronischen Detektor (7) und einer Auswerteinrichtung (8), wobei der im Gesichtsfeld der Abbildungsoptik (5) befindliche Teil des Objektes (1) auf den Detektor (7) abgebildet und detektiert wird und die detektierte Bildinformation der Auswerteinrichtung (8) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß in der Auswerteinrichtung (8) zumindest von einem Teil des auf dem Detektor (7) abgebildeten Objektes (1) die Lage und/oder der Verlauf der abgetragenen Objektstrukturen (2a; 2b) auf dem Detektor (7) und deren ortsunabhängig variierender Abbildungsmaßstab und Verzerrung ermittelt werden und daraus zusammen mit den Abbildungseigenschaften der Abbildungsoptik (5) die durch Lageparameter beschriebene Position und/oder Drehlage des Objektes (1) im Raum bestimmt wird, wobei die Lageparameter unter Zuhilfenahme geometrischer Vektorgleichungen ermittelt werden.



DE 198 12 609 C 2

DE 198 12 609 C 2

1
Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Position und Drehlage eines Objektes im dreidimensionalen Raum entsprechend den Merkmalen im Oberbegriff der Ansprüche 1 und 2.
[0002] Die für die Erfindung in Frage kommenden Objekte sind vielfältig und in ihrer Funktion und Anwendung sehr unterschiedlich. Beispiele für solche Objekte sind Operationsmikroskope oder Operationswerkzeuge im medizinischen Bereich, Nivellierlatten in der geodätischen Vermessung, Geschützrohre im militärischen Bereich oder auch Antennen, insbesondere Richt- und Radaranennen. Eine wichtige Rolle spielt bei derartigen Objekten ihre Lage im Raum. Diese ist in einem vorgegebenen Koordinatensystem vollständig durch sechs reelle Lageparameter bestimmt, die sich aus drei Parametern für die Position (Translationsgruppe) und drei Parametern für die Drehlage (Rotationsgruppe) zusammensetzen. Die Position des Objektes ist durch die 3-dimensionalen Koordinaten eines auf dem Objekt ausgewählten Punktes gegeben. Die Drehlage des Objektes wird im allgemeinen durch den Richtungsvektor einer definierten Objektachse und den Drehwinkel des Objektes um die Objektachse beschrieben. Der Richtungsvektor der Objektachse ist ein Einheitsvektor mit der Länge 1, d. h. die Summe der Betragssquadrat seiner Komponenten ergibt 1.
[0003] G. Nagy und A. Falsafi: "Using Vanishing Points to Locate Objects with six Degrees of Freedom" in: E. S. Gelsema, L. N. Kanal (Hrsg.): Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Proceedings of an International Workshop, Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1988, S. 123-139 beschreiben eine Methode, bei der Fluchtpunkte genutzt werden, um die Lage eines Objektes im dreidimensionalen Raum zu bestimmen. Dabei werden ebene Polygone als Marken verwendet, die auf dem Objekt angebracht werden und die mindestens zwei Paare von parallelen Linien enthalten. Die Projektionen der jeweiligen parallelen Linien in der Abbildungsebene einer Kamera schneiden sich in einem Fluchtpunkt, wobei die Koordinaten des Fluchtpunktes unabhängig von einer Translation der Linien sind und nur von der Drehlage der Linien abhängen. Dadurch sind die Gleichungen zur Bestimmung der Unbekannten für die Drehung und für die Translation entkoppelt und es lassen sich zunächst die Gleichungen für die Drehung leicht lösen. Mit den ermittelten Drehwinkeln und mit einer zusätzlichen Ermittlung der Lage zweier Punkte auf dem Polygon können anschließend die Translationsvariablen bestimmt werden.
[0004] In der WO 95/27918 wird eine Anordnung zur Bestimmung der räumlichen Lage eines Operationsmikroskopes mit Hilfe von codierten Lichtsignalen beschrieben, die von Leuchtdioden vorzugsweise im infraroten Bereich emittiert und von Lichtrezeptoren empfangen werden. Ein Operationsmikroskop ist im allgemeinen kardinalisch an einem Arm aufgehängt und kann in drei Raumrichtungen translational bewegt und um drei Raumrichtungen gedreht werden, so daß seine Lage im Raum beliebig eingestellt werden kann. Auf dem Operationsmikroskop werden an bestimmten Stellen die Leuchtdioden oder Glasfasern angeordnet, die mit Licht aus den Leuchtdioden gespeist werden. Alternativ können auch Reflektoren am Operationsmikroskop angebracht werden. Die Lichtrezeptoren sind an verschiedenen Stellen im Raum angeordnet und empfangen die jeweils für sie spezifizierten Lichtsignale. Daraus wird die räumliche Lage des Operationsmikroskopes bestimmt. Bei gleichzeitig bekannter räumlicher Lage des Patienten sind somit die Koordinaten des durch das Operationsmikroskop betrachteten Operationsfeldes bekannt, was für die Mikrochirurgie unerlässlich ist.

[0005] Im geodätischen Vermessungswesen werden Nivellierlatten zur Bestimmung von Höhenfixpunkten und zur topographischen Vermessung eingesetzt. Ebenso finden sie in der Bauvermessung und im Verkehrswegebau Verwendung. Dabei wird eine Nivellierlatte mit der Fernrohroptik eines Nivelliergerätes anvisiert, um den Höhenunterschied zwischen Nivelliergerät und Nivellierlatte zu messen. Es wird vorausgesetzt, daß die Nivellierlatte senkrecht zur optischen Achse des Fernrohrs ausgerichtet ist. Da die optische Achse des Fernrohrs üblicherweise in einer horizontalen Ebene einjustiert wird, muß eine Bedienperson die Nivellierlatte mit Hilfe der daran angebrachten Libellen möglichst senkrecht ausgerichtet halten. Eine Verkipfung der Nivellierlatte bewirkt einen Fehler in der Höhenmessung.
[0006] Mit dem Aufkommen von automatisierten Digital-Nivelliergeräten gemäß der DE 34 24 806 C2 wurde erstmals eine elektronische Lattenablesung möglich. Zu diesem Zweck wird auf der Nivellierlatte ein Codemuster aus schwarzen und weißen Elementen aufgebracht, von dem ein Teil mit Hilfe der Fernrohroptik des elektronischen Nivelliergerätes auf einem ortsauffasenden Detektor abgebildet wird. Hierbei wird die im Gesichtsfeld des Fernrohrs befindliche Information des Codemusters genutzt, um durch Vergleich mit dem als Referenzcodemuster im Nivelliergerät abgespeicherten Codemuster der Nivellierlatte den gemessenen Höhenmeßwert zu erhalten. Bei diesem Meß- und Auswertverfahren wird zwar das gemessene Codemuster identifiziert, jedoch wird eine Verkipfung der Nivellierlatte und der daraus resultierende Beitrag zur Meßungenauigkeit nicht berücksichtigt.
[0007] Ein spezielles Codemuster ist aus der DE 195 30 788 C1 bekannt. Eine Nivellierlatte mit einem rotationssymmetrischen Querschnitt besitzt auf ihrer Mantelfläche Codeelemente, die rotationssymmetrisch zur Längsachse der Nivellierlatte geschlossene Linien bilden. Dadurch ist das Codemuster von allen Seiten sichtbar.
[0008] In der DE 44 38 759 C1 wird ein Verfahren zur Bestimmung des Kippwinkels von codierten Nivellierlatten in Meßrichtung mittels eines elektronischen Nivelliergerätes beschrieben. Dabei wird die Verkipfung der Nivellierlatte ausschließlich in Meßrichtung, also in der Beobachtungsrichtung, berücksichtigt. Die dadurch entstehende Verzeichnung des Codemusters auf dem Detektor wird ausgewertet und der Kippwinkel bestimmt. Eine seitliche Verkipfung der Nivellierlatte, die also quer zur Beobachtungsrichtung des Nivelliergerätes erfolgt, wird dabei aber nicht beachtet. Deswegen genügt als Detektor ein eindimensionales Diodearray.
[0009] Aufgrund einer seitlichen Verkipfung der Nivellierlatte tritt ebenfalls ein Fehler in der Höhen- und Distanzmessung. Der Schnittpunkt der optischen Achse des Nivelliergerätes mit einer verkippten Nivellierlatte liegt an einer vom Fußpunkt der Nivellierlatte weiter entfernten Stelle als bei exakt senkrechter Ausrichtung der Nivellierlatte. Eine unzureichend senkrechte Ausrichtung durch ungenaue Libellenablesung des Bedienpersonals führt deshalb zu fehlerbehafteten Meßergebnissen. Nachdrücklich gibt es keine Möglichkeit zu einer Fehlerkorrektur. Zudem wird heute oft nur eine einzige Bedienperson eingesetzt, die das Nivelliergerät zur Nivelliermessung bedient. Die allein stehende Nivellierlatte ist den Windverhältnissen ausgesetzt, was zu entsprechenden Abweichungen bei der Nivelliermessung führt.
[0010] Bei einem Geschützrohr - und auch bei Richt- und Radaranennen gilt die folgende Ausführung in analoger Weise - geht es in erster Linie darum, dessen Ausrichtung im Raum festzustellen oder ein Schwenken des Geschützrohres in eine bestimmte vorgegebene Richtung zu bewir-

ken und zu messen. Mit Hilfe von Barcode, die mit dem Geschützrohr mechanisch verbunden sind, wird die horizontale und vertikale Winkelsestellung (Azimut und Elevation) des Geschützrohres geneuert. Die Barcode enthalten im allgemeinen kodierte Drehscheiben, die über ein Getriebe beim Verschieben des Geschützrohres eine Drehbewegung ausführen und dabei den Drehwinkel entsprechende elektrische Signale liefern. Das mechanische Spiel ist bei derartigen Steuerungen nachteilig. Zudem führen die großen Thermo- und Schockbelastungen zu Ungenauigkeiten und los bestimmter Verschleiß.

[0011] Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Position und die Drehlage eines Objektes im dreidimensionalen Raum schnell und berührungsfrei bestimmt werden kann.

[0012] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen nach Anspruch 1 oder 2 gelöst. Vorteilhaft Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen 3 bis 19.

[0013] Zur Ermittlung der Position und Drehlage eines Objektes im Raum wird ein optischer Meßkopf verwendet. Der Meßkopf beinhaltet eine Abbildungsoptik und einen in zwei Dimensionen ortsaufweisenden Detektor, der in der Fokalebene der Abbildungsoptik angeordnet ist. Das Objekt wird mit seinen Objektstrukturen durch die Abbildungsoptik auf den Detektor abgebildet. Die Objektstrukturen sind als a priori Information von vornherein bekannt. Die Objektstrukturen können die geometrische Form des Objekts und seine Ausmaße beinhalten oder sie können Markierungen an bestimmten Stellen auf dem Objekt sein oder sie sind ein Codemuster, das auf dem Objekt aufgebracht ist. Das auf dem Detektor zweidimensional vorliegende Bild des Objektes bzw. der Objektstrukturen wird in einer an dem Detektor angeschlossenen Auswertereinheit ausgewertet.

[0014] Es gibt verschiedene Möglichkeiten für die Auswertung der zweidimensionalen Bildinformation. Zum einen kann das Bild des Objektes mit berechneten Bildern verglichen werden. Aus der bekannten Geometrie des Objektes oder aus vorhandenen Markierungen auf dem Objekt oder aus einem vorhandenen Codemuster auf dem Objekt oder auch aus allen diesen Objektstrukturen zusammen kann unter Hinzubeziehung der bekannten Eigenschaften der Abbildungsoptik (und gegebenenfalls der Diskretisierung des ortsaufweisenden Detektors) für beliebige sinnvolle Werte der eingangs genannten sechs Lageparameter das zu erwartende Detektorbild berechnet werden. Mit Hilfe von Optimierungungsverfahren werden diejenigen Werte der Lageparameter bestimmt, die die beste oder zumindest eine hinreichend gute Übereinstimmung des berechneten Bildes mit dem tatsächlich aufgenommenen Bild liefern. Solche Optimierungsverfahren sind beispielsweise die Quasi-Newton-Verfahren (Bestimmung der minimalen Quadrate oder der maximalen Likelihood etc.), die aus K. Levenberg: "A method for the Solution of Certain non-linear Problems in Least Squares", Quart. Appl. Math. 2 (1944), pp. 164-168 oder aus D. W. Marquardt: "An Algorithm for Least-squares Estimation of Nonlinear Parameters", SIAM J. Appl. Math. 11 (1963), pp. 431-441 oder aus J. J. Moré: "The Levenberg-Marquardt Algorithm: Implementation and Theory", Numerical Analysis, ed. G. A. Watson, Lecture Notes in Mathematics 630, Springer Verlag (1978), pp. 105-116 bekannt sind.

[0015] Eine andere Auswertemöglichkeit besteht darin, die auf dem Detektor abgebildeten Objektstrukturen hinsichtlich ihrer geometrischen Parameter zu analysieren und daraus die Lageparameter des Objektes zu bestimmen. Es werden also zunächst die ebene Position und Drehlage der

abgebildeten geometrischen Formen (z. B. Randkonturen) oder des Codemusters auf dem Detektor und der Verlauf des sich in Abhängigkeit der Detektorkoordinaten ändernden Abbildungsmaßstabes gemessen und ermittelt. Bei Vorteil eines Codemusters werden vorzugsweise komplett alle Codemarken des auf dem Detektor abgebildeten Codemusters verwendet, da dadurch eine hohe Genauigkeit und vor allem eine große Robustheit und Stabilität des Auswertungsergebnisses erreicht werden kann. Für andere Anforderungen wie beispielsweise für ein besonders schnelles Vorgehen des Meßergebnisses genügt aber bereits die Auswertung von nur 3 dekodierten Codemarken des Codemusters. Die Genauigkeit des Meßergebnisses ist dabei etwas eingeschränkt. Alternativ hierzu können auch nur die abgebildeten Randkonturen des Objektes ausgewertet werden.

[0016] Aus den ermittelten geometrischen Parametern der detektierten Objektstrukturen werden mit Hilfe der optischen Abbildungsgleichung und geometrischer Beziehungen (Vektorgebilde) die Lageparameter des Objektes bestimmt. Durch die Lageparameter, die wie eingangs erwähnt den Positionsvektor, den Richtungsvektor der Objektschse und den Drehwinkel des Objektes um die Objektschse beinhalten, ist die räumliche Lage des Objektes, also dessen Position und Drehlage rekonstruiert.

[0017] Selbstverständlich können die genannten Auswertemöglichkeiten auch miteinander kombiniert werden. Beispielsweise kann eine Grobbestimmung der Lageparameter durch eine grobe Auswertung der Randkonturen oder nur weniger Codemarken erfolgen und sich eine Feinauswertung unter Einbeziehung der gesamten aufgenommenen Objektgeometrie oder aller aufgenommenen Codemarken anschließen. Für die Feinauswertung können insbesondere auch die oben zitierten Optimierungsverfahren herangezogen und hierfür die aus der Grobauswertung bestimmten Lageparameter als Startparameter für die Optimierung genutzt werden.

[0018] Zweckmäßigerweise wird für die räumliche Lagebestimmung des Objektes ein 3-dimensionales kartesisches Koordinatensystem gewählt. Die Koordinaten des Meßkopfes und somit des Detektors sind in diesem Koordinatensystem bekannt. Das Koordinatensystem kann auch von vornherein so gewählt werden, daß es mit den Detektorkoordinaten übereinstimmt. Es versteht sich von selbst, daß die Lageparameter des Objektes in jedes beliebige sinnvolle Koordinatensystem umgerechnet werden können. Insbesondere kann die Drehlage des Objektes auch durch zwei Polwinkel oder durch Azimut, Elevation und jeweils dem Drehwinkel des Objektes um die Drehachse oder auch durch drei Eulerwinkel angegeben werden.

[0019] Für die Erfindung ist ein in zwei Dimensionen ortsaufweisender optoelektronischer Detektor notwendig. Dieser kann beispielsweise eine Videokamera oder ein zweidimensionales CCD-Array sein. Es können aber auch mehrere nebeneinander angeordnete eindimensionale CCD-Arrays verwendet werden. Mit einem solchen Detektor und mittels der Abbildungsoptik wird das Objekt aufgenommen. Dabei werden die im Gesichtsfeld der Abbildungsoptik befindlichen Objektstrukturen abgebildet und detektiert. Der Detektor ist dabei mit seiner lichtempfindlichen Detektorfläche im allgemeinen senkrecht zur optischen Achse der Abbildungsoptik justiert. Der Schnittpunkt der optischen Achse mit der lichtempfindlichen Detektorfläche kann den Nullpunkt des Koordinatensystems des Detektors definieren.

[0020] Bei Verwendung eines CCD-Detektors mit diskreten lichtempfindlichen Pixelstrukturen kann mit geeigneten Objektstrukturen, insbesondere mit geeigneten Strukturen eines Codemusters die örtliche Auflösung des CCD-Detektors noch erheblich gesteigert werden. Dabei ist mehr als das

10-fache der Pixelauflösung des Detektors erreichbar. Die besondere Meßempfindlichkeit ergibt sich, wenn die Ortsgrundfrequenz oder eine der harmonischen Ortsbeträgen durch die durch das Codemuster auf dem Detektor erzeugten Intensitätsverteilung mit der Ortsgrundfrequenz ein niederfrequentes Überlagerungsmuster bildet. Das niederfrequente Überlagerungsmuster wird in derselben Art und Weise wie ein Monomuster. Von Monomustern ist bekannt, daß sie sehr empfindlich auf eine Verschiebung der erzeugenden Strukturen reagieren. Dies bedeutet hier, daß bereits bei einer sehr geringen Veränderung der Intensitätsverteilung auf dem Detektor gegenüber dessen Pixelstruktur sich das niederfrequente Überlagerungsmuster in seiner Ortsfrequenz stark ändert. Somit kann die Lage des abgebildeten Codemusters auf dem Detektor hochpräzise gemessen werden. Da eine Änderung des Überlagerungsmusters durch eine Änderung der Position und Drehlage des Objektes hervorgerufen wird, werden also die Lageparameter des Objektes im Raum sehr empfindlich und damit hochpräzise meßbar.

[0021] Ist das Objekt eine Nivellierlatte, so ist zusätzlich zu ihrer Position auch der Richtungsvektor ihrer Achse von Bedeutung, da er die Verkipplung der Nivellierlatte aus der Senkrechten beschreibt. Neben den bekannten herkömmlichen Nivellierlaten, bei denen ein Codemuster auf einer ebenen Fläche aufgebracht ist, kann auch eine zu ihrer Längsachse rotationssymmetrische Nivellierlatte mit einem rotationssymmetrischen Strichcode verwendet werden. In diesem Fall kann die Abbildungsoptik dasselbe Codemuster sogar kontinuierlich von allen Seiten der Nivellierlatte aufnehmen. Durch die Bestimmung des Richtungsvektors der Nivellierlatte aus dem abgebildeten Codemuster oder den detektierten Konturen der Nivellierlatte wird sowohl die Neigung der Nivellierlatte in Blickrichtung der Abbildungsoptik als auch die laterale Neigung der Nivellierlatte quer zur Blickrichtung der Abbildungsoptik erfaßt. Somit wird die Abweichung der Nivellierlatte von der idealen Senkrechten ermittelt und in einer entsprechenden Korrektur für die Nivelliermessung berücksichtigt. Diese Korrektur erfolgt automatisch bei jeder Nivelliermessung. Damit kann sogar eine vorübergehende Auslenkung der Nivellierlatte entfallen. Dadurch wird eine schnelle und präzise Geländevermessung mit nur einer einzigen Bedienperson und auch unabhängig von den Windverhältnissen ermöglicht. Wird darüber hinaus im gegebenen Fall auch der Drehwinkel der Nivellierlatte um ihre Achse bestimmt – ein geeignetes Codemuster oder bestimmte Markierungen vorausgesetzt –, so ergibt sich damit bei einem ortsinvarianten Meßkopf automatisch auch dessen Ausrichtung.

[0022] Ist das Objekt ein Geschützrohr, so kann dieses analog zum Fall der Nivellierlatte mit verschiedenen Codemustern ausgestattet werden. Sollen nur Elevation und Azimut des Geschützrohres ermittelt werden, so genügt bereits ein zur Längsachse des Geschützrohres rotationssymmetrisches Codemuster oder nur die Randkontur des Geschützrohres. Wird zusätzlich ein Codemuster mit zur Längsachse parallel ausgerichteten Codestrichen auf das Geschützrohr aufgebracht, so kann zusätzlich dessen Drehwinkel um seine Achse bestimmt werden. Die Codestriche können dabei auch stochastisch ausgerichtet sein. Auch können Kombinationen dieser Codemuster verwendet werden, bei denen sich z. B. Segmente mit rotationssymmetrischen Codestrichen und Segmente mit parallelen oder stochastischen Codestrichen abwechseln. Vorteilhaft ist auch ein um das Geschützrohr spiralförmig aufgewickeltes Codemuster, mit dem etwa gleiche Empfindlichkeit für den Richtungsvektor der Geschützrohrachse und den Drehwinkel des Geschützrohres

um seine Achse erreicht werden kann. Es kann aber auch ein Codemuster mit einer vollkommen unregelmäßigen Struktur verwendet werden, wie sie beispielsweise militärische Tarnmuster besitzen. Entscheidend für alle Codemuster ist, daß sie entweder von sich aus bekannt sind oder durch eine Vermessung ermittelt werden. Vorteilhaft sind dabei solche Codemuster, für die Korrelationsverfahren leicht anwendbar sind.

[0023] Mittels der Abbildungsoptik werden die Konturen des Geschützrohres oder/und das Codemuster aufgenommen und die Drehlage des Geschützrohres berührungsfrei ermittelt. Gegebenenfalls kann das Geschützrohr aktiv beleuchtet werden, z. B. mit infrarotem Licht. Das Geschützrohr bzw. das aufgebraute Codemuster können auch selbstleuchtend sein. Bei einer im allgemeinen festen Ausrichtung von Abbildungsoptik und Detektor gegenüber dem Geschützrohr und aufgrund der optischen Vermessung ergibt sich der große Vorteil, daß keinerlei mechanisch bewegliche Komponenten zur Bestimmung von Azimut, Elevation und Drehwinkel des Geschützrohres notwendig sind. Diese berührungsfreie Vermessung läuft schnell ab und liefert präzise Ergebnisse.

[0024] In das Objekt ein im medizinischen Umfeld – insbesondere in der automatisierten Mikrochirurgie – eingesetztes Hilfsmittel wie z. B. ein Operationsmikroskop, ein Operationswerkzeug (Skalpells, Bohrer, endoskopisches Mittel, etc.) oder auch eine Strahlungsquelle zur Tumorbearbeitung, so muß eine gute Sichtbarkeit der Objektstrukturen des Hilfsmittels für den Meßkopf gewährleistet sein. Bei der Handhabung mit dem Hilfsmittel kann dieses von Personen oder Instrumenten zeitweilig verdeckt und die Blickrichtung zum Meßkopf unterbrochen werden. Soll unter diesen Bedingungen aber ständig die räumliche Lage des Hilfsmittels gemessen werden, so ist es nützlich, wenn sich die von dem Meßkopf zu erfassenden Objektstrukturen an einer exponierten Stelle des Hilfsmittels befinden, damit sie möglichst gut in freier Blickrichtung zum Meßkopf liegen. Bei Verwendung eines Codemusters kann ein solches dabei auch an mehreren Stellen des Hilfsmittels aufgebracht sein oder es kann sogar die gesamte Oberfläche des Hilfsmittels überdecken. Der Meßkopf kann für eine optimale Aufnahme räumlich beweglich sein oder es werden vorzugsweise mehrere in Raum verteilt angeordnete Meßköpfe gleichzeitig verwendet. Die Redundanz der von mehreren Meßköpfen gelieferten Ergebnisse erfüllt zudem die im medizinischen Bereich gestellte Forderung nach besonderer Gerätesicherheit.

[0025] Im übrigen kann das Objekt auch der Patient selbst sein, d. h. genauer ein mit dem Patienten fest verbundener Rahmen, der das Koordinatensystem des Patienten definiert. Gerade bei Operationen von Tumoren im Gehirn wird ein solcher Rahmen am Kopf des Patienten fixiert, wobei die räumliche Lage des Tumors bezüglich des Rahmens z. B. durch vorherige Computertomographie-Aufnahmen ermittelt wird. Werden die geometrischen Strukturen des Rahmens oder die auf dem Rahmen aufgetragenen Codemuster von den Meßköpfen aufgenommen und die räumliche Lage des Rahmens bestimmt, so sind die Koordinaten des Tumors auch im Koordinatensystem der Meßköpfe bekannt. Da zudem auch die räumliche Lage des Operationsmikroskops und der Operationswerkzeuge mit Hilfe der Meßköpfe festgestellt wird, kann eine endoskopische Navigation durch das Gehirn zum Tumor vollautomatisch erfolgen.

[0026] Bei allen genannten Anwendungsbeispielen der Erfindung kann es vorkommen, daß sich ein Objekt schlecht mit einem zu verwendenden Codemuster versehen läßt oder das Objekt bereits als fertiges Bauteil vorliegt. In solchen Fällen besteht die Möglichkeit, einen mit einem Codemuster

verschieden separaten Körper am Objekt exzentrisch anzu-
bringen ("Boosterprinzip"). Der Körper kann eine zylindri-
sche Form besitzen. Natürlich können auch mehrere solcher
Körper an einem Objekt angebracht werden. Wenn sich das
Objekt im Raum bewegt, vollführt auch der separat ange-
brachte Körper eindeutige gekoppelte Bewegungen, insbe-
sondere Drehbewegungen, so daß stets auf die Position und
Drehlage des Objektes rechnerisch geschlossen werden
kann.

[0027] Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der
Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:
[0028] Fig. 1 eine schematische Darstellung der Drehlage
eines mit einem Codemuster versehenen Objekts und der
Aufnahme der Objektstrukturen durch einen Meßkopf mit
einem optischen Abbildungssystem und einem ortsauflösen-
den Detektor.

[0029] Fig. 2 eine schematische Darstellung von Detek-
turaufnahmen des Objekts bei verschiedenen Drehlagen.

[0030] Fig. 3 eine Darstellung geometrischer Zusammen-
hänge zur Ermittlung der Drehlage und des Positionsvektors
des Objekts.

[0031] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines als me-
dizinisches Hilfsmittel ausgebildeten Objekts und dessen
Aufnahme durch mehrere Meßköpfe und

[0032] Fig. 5a, b separate, mit einem Codemuster verse-
hene Körper, die an dem zu vermessenden Objekt ange-
bracht sind.

[0033] Fig. 1 zeigt schematisch ein Objekt 1 in einem
rechtwinkligen Koordinatensystem x, y, z . Das Objekt 1 be-
sitzt einen Fußpunkt 3 und eine Objektachse 4 und kann mit
einem Codemuster 2b versehen sein. Die Objektstrukturen 2a
oberhalb des Codemusters 2b sind entweder von vornherein
bekannt oder sie werden gemessen, so daß sich die Größe,
Form und der Abstand der Details der Objektstrukturen 2a
bzw. der einzelnen Codeelemente des Codemusters 2b zum
Fußpunkt 3 des Objektes 1 ergeben. Die Objektstrukturen 2a
sind in einfachsten Fall gerade Linien. In Fig. 1 sind die
Objektstrukturen 2a zusätzlich rotationsymmetrisch zur Ob-
jektachse 4 dargestellt, wobei in diesem Spezialfall der
Drehwinkel κ des Objektes 1 um die Achse 4 nicht alleine
aus den Objektstrukturen 2a ermittelt werden kann.

[0034] Mit Hilfe einer in einem Meßkopf 9 befindlichen
Abbildungsoptik 5 wird der in ihrem Gesichtsfeld befindli-
che Teil der Objektstrukturen 2a, 2b auf einen zweidimen-
sional ortsauflösenden optoelektronischen Detektor 7 abge-
bildet. Die elektrischen Signale des Detektors 7 werden in
einer Auswertereinheit 8 ausgewertet.

[0035] In der lichtempfindlichen Detektorebene des De-
tektors 7 ist ein Koordinatensystem $x_{\text{Det}}, y_{\text{Det}}$ definiert, wo-
bei dessen Koordinatenursprung im Schnittpunkt der opti-
schen Achse 6 der Abbildungsoptik 5 mit der Detektorebene
gewählt ist. Die senkrecht zur Detektorebene angeordnete
optische Achse 6 ist parallel zur z-Achse des Koordinaten-
systems x, y, z ausgerichtet. Im Falle einer horizontalen
Abbildungsoptik 5 ist die y-Achse zugleich die Senkrechte
zur Erdoberfläche. Selbstverständlich können auch andere
Koordinatensysteme verwendet werden.

[0036] Die Lage des Objektes 1 im Raum ist durch sechs
Lageparameter eindeutig bestimmt. Sie ergeben sich aus den
Komponenten des Positionsvektors \vec{r}_0 , den Komponenten
des Richtungsvektors \vec{v} , der wegen seiner Eigenschaft als
Einheitsvektor nur zwei unabhängige Parameter enthält und
dem Drehwinkel κ des Objektes 1 um seine Achse 4. Der
Positionsvektor \vec{r}_0 zeigt von der Abbildungsoptik 5 zum
Fußpunkt 3 des Objektes 1. Der Richtungsvektor \vec{v} weist in
die Richtung der Objektachse 4 und gibt somit deren Lage
im Raum an. Anstelle des Richtungsvektors \vec{v} kann die Lage
der Objektachse 4 auch durch den von der vertikalen y-

Achse aus gemessenen Winkel δ und den von der y-z-Ebene
aus gemessenen horizontalen Winkel φ beschrieben werden.
Bei eindeutigen Objektstrukturen 2a oder eindeutigen Code-
muster 2b kann der Drehwinkel κ um die Objektachse 4 er-
mittelt werden. Der Drehwinkel κ kann z. B. von der Ebene
aus gemessen werden, die vom Positionsvektor \vec{r}_0 und vom
Richtungsvektor \vec{v} aufgespannt wird. Somit ist die vollstän-
dige Drehlage des Objektes 1 bestimmt.

[0037] Die Lageparameter des Objektes 1 werden erfin-
dungsgemäß aus der ebenen Lage und der lokalen Verzeich-
nung der auf dem Detektor 7 abgebildeten Objektstrukturen
2a, 2b bestimmt. Je nach Größe der Polarwinkel (φ, δ) und
des Positionsvektors \vec{r}_0 verändern sich die in Fig. 1 schema-
tisch dargestellte Lage und Verzeichnung der Objektstruk-
turen 2a, 2b auf dem Detektor 7.

[0038] Hierzu sind in Fig. 2 schematisch Abbildungen des
Objektes 1 bei verschiedenen Polarwinkeln (φ, δ) auf dem
Detektor 7 gezeigt. Jede der dargestellten Linien im Detek-
torkoordinatensystem $x_{\text{Det}}, y_{\text{Det}}$ entspricht symbolisch der
Abbildung desselben φ der Abbildungsoptik 5 erfaßten
Abschnitts des Objektes 1 jeweils für ein unterschiedliches
Paar Polarwinkel (φ, δ). Die einzelnen Codeelemente eines
eventuell vorhandenen Codemusters 2b sind hierbei nicht
mit dargestellt.

[0039] Aus der Fig. 2 sind drei Gruppen von Linien G1,
G2, G3 erkennbar, die drei unterschiedliche vertikale Win-
kel δ repräsentieren. Der Gruppe G1 im oberen Bereich der
Fig. 2 kann ein kleiner vertikaler Winkel δ zugeordnet wer-
den, während ein großer Winkel δ die Gruppe G3 hervorruft.
Innerhalb einer jeden Gruppe G1, G2, G3 variiert der hori-
zontale Winkel φ , wobei den Linien bei positiven bzw. nega-
tiven Koordinatenwerten von x_{Det} entsprechend große nega-
tive bzw. positive Winkel φ zuzuordnen sind.

[0040] Die unterschiedlichen Längen der Linien in Ab-
hängigkeit von φ und δ weisen auf den unterschiedlichen
Abbildungsmaßstab je nach Drehlage des Objektes 1 hin. Da-
bei variiert der Abbildungsmaßstab der Objektstrukturen 2a,
2b entlang einer jeden Linie, denn die Objektstrukturen 2a,
2b sind aufgrund der Drehlage des Objektes 1 unterschiedlich
weit von der Abbildungsoptik 5 entfernt. Der Abbildungs-
maßstab ergibt sich aus dem Quotienten der bekannten
Größe der Objektstrukturen 2a, 2b auf dem Objekt 1 und der
gemessenen Größe der Objektstrukturen 2a, 2b auf dem De-
tektor 7. Mit Hilfe der Brennweite f der Abbildungsoptik 5
errechnet sich daraus nach dem Gesetz der geometrischen
Optik der Abstand zwischen der Abbildungsoptik 5 und den
Objektstrukturen 2a, 2b auf dem Objekt 1.

[0041] Hierzu ist in Fig. 3 die geometrische Situation dar-
gestellt. Um das Prinzip klarer darzustellen, wird die Dicke
des Objektes 1 außer Acht gelassen. Der Anzielpunkt kann
dann mit dem Fußpunkt 3 zusammenfallen und beide sind
durch den Positionsvektor \vec{r}_0 gegeben. Die Objektstrukturen
2a, 2b sollen in diesem Fall ein Codemuster 2b sein. Das i-te
Codeelement des Codemusters 2b befindet sich in einem fe-
sten, bekannten Abstand $l_{i,j}$ vom Fußpunkt 3 des Objektes 1.
Dabei ist vorausgesetzt, daß die Nummer i des Codeele-
ments bekannt ist, dies kann entweder durch Abzählen er-
reicht werden, wenn das gesamte Codemuster 2b auf dem
Detektor 7 abgebildet ist, oder durch Decodieren eines ge-
nügend langen abgebildeten Teilstücks des Codemusters 2b.
Durch die Abbildungsoptik 5 mit der Brennweite f wird das
i-te Codeelement auf dem Detektor 7 in einem Abstand $l'_{i,j}$
von der optischen Achse 6 abgebildet. Die Vektoren \vec{p}_i und
 \vec{L}_i sind dreidimensional, wobei \vec{p}_i in der Ebene des Detektors
7 liegt. Im allgemeinen befinden sich die Vektoren \vec{p}_i und \vec{L}_i
nicht in der Zeichenebene der Fig. 3. Im folgenden werden
zwei Fälle unterschieden.

[0042] In einem ersten Fall soll der Positionsvektor \vec{r}_0 von

der Abbildungsoptik 5 zum Fußpunkt 3 des Objektes 1 vorge-
geben sein. Der vorgegebene Positionsvektor \vec{r}_0 bedeutet,
daß die Abbildungsoptik 5 und der Fußpunkt 3 des Objektes
1 gegeneinander unverändert sind. Der Positionsvektor
 \vec{r}_0 kann durch eine einfache mechanische Messung oder bei
höheren Anforderungen auch durch eine Laservermessung
in einer vorbestimmten räumlichen Lage befindet, ermittelt
werden. Eine solche gegenseitige Fixierung von Meßkopf 9
und Objekt 1 kann beispielsweise bei einem Geschützrohr
als Objekt 1 der Fall sein. Mit dem bekannten Positionsvek-
tor \vec{r}_0 werden die Polarwinkel (φ, δ) des Geschützrohres er-
mittelt, wodurch dieses in eine vorgegebene Drehlage ge-
bracht oder eingeregelt werden kann. Innerhalb des
Schwenkbereichs des Geschützrohres muß das Codemuster
2 wenigstens zu einem Teil von der Abbildungsoptik 5 er-
faßt werden können.

[0043] Aus den nachfolgenden Gleichungen wird der Ab-
stand $l_{i,j}$ der Abbildungsoptik 5 zum i-ten Codeelement
des Codemusters 2 ermittelt, wobei

$$\vec{a}_i = f \cdot \vec{e}_z - \vec{p}_i$$

und \vec{e}_z der Einheitsvektor in positiver z-Richtung ist. Der
Vektor \vec{a}_i ist somit bekannt, während $l_{i,j}$ der zu bestimmende
Multiplikationsfaktor ist. Es gilt die Vektorgleichung

$$\vec{L}_i = l_{i,j} \cdot \vec{a}_i - \vec{r}_0$$

[0044] Durch die Bildung des Betragsquadrats ergibt sich
die folgende quadratische Gleichung für $l_{i,j}$:

$$l_{i,j}^2 \cdot \lambda_i^2 - 2 \cdot (\vec{r}_0 \cdot \vec{a}_i) \cdot \lambda_i + r_0^2 - l_{i,j}^2 = 0.$$

[0045] Somit gibt es für $l_{i,j}$ zwei Lösungen, die in Fig. 3
anschaulich durch die beiden Schnittpunkte des gestrichelt
gezeichneten Kreises mit der Beobachtungsrichtung \vec{a}_i
zum i-ten Codeelement dargestellt sind. Die Eindeutigkeit
der Lösung wird durch die Verzerrung des i-ten Codeele-
ments auf dem Detektor 7 festgestellt. Die Verzerrung be-
schreibt die Abweichung der Form des abgebildeten Code-
elements (oder generell des Objektes 1) gegenüber seiner
Form, die es bei der "Nullstellung" (Polarwinkel $\varphi = 0$ und δ
 $= 0$) des Objektes 1 besitzt.

[0046] Aufgrund des aus den obigen Gleichungen ermit-
telten Abstandes $l_{i,j}$ zum i-ten Codeelement und des aus
dem dezentrierten Vektor \vec{p}_i ermittelten Vektors \vec{L}_i er-
geben sich die dreidimensionalen Koordinaten des Vektors \vec{L}_i .
Daraus ergibt sich sofort der Richtungsvektor $\vec{v} = \vec{L}_i / L_i$,
woraus sich leicht mittels trigonometrischer Funktionen die
Polarwinkel (φ, δ) berechnen lassen. Somit genügt bei be-
kanntem Positionsvektor \vec{r}_0 bereits die Messung eines einzi-
gen Codeelements zur Berechnung der Polarwinkel (φ, δ).
Die Genauigkeit der Polarwinkelberechnung kann natürlich
durch die Einbeziehung mehrerer Codeelemente des Code-
musters 2b wesentlich erhöht werden. In zudem ein bezi-
glich des Drehwinkels κ eindeutiges Codemuster 2b auf dem
Objekt 1 aufgebracht, so kann zugleich auch der Drehwinkel
 κ des Objektes 1 um seine Achse 4 aus dem abgebildeten
Codemuster 2b bestimmt werden. Somit ist die gesamte
Drehlage des Objektes 1 schnell, präzise und berührungslos
erfaßbar.

[0047] In einem weitergeordneten zweiten Fall sollen der
Meßkopf 9 und das Objekt 1 räumlich gegeneinander varia-
bel sein. Dann ist neben der Drehlage auch der Positi-
onsvektor \vec{r}_0 unbekannt. Die zusätzliche Bestimmung des Posi-
tionsvektors \vec{r}_0 ist insbesondere bei einer Nivellierlatte, ei-
nem Operationsmikroskop oder einem Operationswerkzeug

als Objekt 1 essentiell (und kann natürlich auch bei dem
oben genannten Geschützrohr erfolgen). Bei Nivelliermes-
sungen ist der Positionsvektor \vec{r}_0 – insbesondere der Ab-
stand z_0 und die Höhe H der Abbildungsoptik 5 zum Fuß-
punkt 3 der Nivellierlatte – sogar die eigentlich interes-
sierende Meßgröße. Wird zugleich auch der Richtungsvektor \vec{v}
der von der exakten Senkrechten stets etwas abweichenden
Nivellierlatte ermittelt, so hat dies die weiter oben genann-
ten vorteilhaften Auswirkungen auf die Genauigkeit der Ni-
velliermessung und die Handhabung beim Nivelliervor-
gang. Dabei kann sogar bewußt auf eine senkrechte Aus-
richtung der Nivellierlatte verzichtet werden und die Ab-
bringung einer Libelle an die Nivellierlatte kann entfallen.
Bei den genannten medizinischen Hilfsmitteln für die Dia-
gnose, Therapie oder Operation schließlich ist die Kenntnis
des Positionsvektors \vec{r}_0 , des Richtungsvektors \vec{v} und des
Drehwinkels κ gleichermaßen von Bedeutung.

[0048] Zur gleichzeitigen Bestimmung von \vec{r}_0 und \vec{v} ge-
nügt es im Prinzip, aus dem auf dem Detektor 7 abgebilde-
ten Codemuster 2b nur drei Codeelemente auszuwählen, de-
ren Code-Nummern i zu bestimmen und auf diese Codeele-
mente die durch die obigen Gleichungen beschriebene Vek-
tormathematik anzuwenden.

[0049] Dabei ist es natürlich für die Genauigkeit und Si-
cherheit des Ergebnisses vorteilhaft, zusätzliche oder alle
deklarierten Codeelemente für die Auswertung heranzu-
ben und die beschriebene Vektormathematik allgemein.
Darüber hinaus können auch aus der Mathematik allgemein
bekannte Schätz- und Ausgleichsverfahren eingesetzt wer-
den. Auch mit Hilfe von Iterationsverfahren und ähnlichen
mathematischen Methoden können die obigen Vektorglei-
chungen gelöst werden.

[0050] Anstelle der Codeelemente des Codemusters 2b
können auch Details von Objektstrukturen 2a oder Markie-
rungen auf dem Objekt 1 in analoger Weise ausgewertet
werden.

[0051] Vorteilhafterweise können die so ermittelten Lage-
parameter des Objektes 1 in nachfolgende Optimierungsver-
fahren eingesetzt und dadurch noch genauer bestimmt wer-
den. Dabei werden die Lageparameter so lange variiert, bis
das aus den Lageparametern errechnete Detektorbild der
Objektstrukturen 2a, 2b optimal mit der tatsächlich debek-
tierten Bildinformation übereinstimmt. Prinzipiell können
die Optimierungsverfahren aber auch unabhängig von vor-
hergehenden Berechnungen durchgeführt werden.

[0052] Fig. 4 zeigt schematisch als Objekt 1 ein Hilfsmit-
tel für den medizinischen Bereich, dessen räumliche Posi-
tion und Drehlage bezüglich eines Patienten von entschei-
dender Bedeutung ist. So kann das Objekt 1 ein Operations-
mikroskop, ein Operationswerkzeug wie z. B. ein Skalpell,
ein Bohrer, ein Endoskop etc. oder ein mit dem Patienten
fest verbundener Rahmen oder auch eine Strahlungsquelle
zur Tumorbildung sein. Das Objekt 1 kann wie in Fig. 4
schematisch gezeigt an mehreren Stellen auf seiner Oberflä-
che mit einem Codemuster 2b versehen sein. Die räumliche
Position des Objektes 1 wird beispielsweise mit Hilfe eines
Schwenkarmes 10 verändert. Zudem ist das Objekt 1 an ei-
nem Drehpunkt 3 in den drei Winkeln φ, δ, κ drehbar am
Schwenkarm 10 gelagert, so daß auch seine Drehlage belie-
big eingestellt werden kann. Somit kann das Objekt 1 – bei-
spielsweise bei einer Gehirnoperation – in eine beliebige er-
forderliche räumliche Lage am Kopf des Patienten gebracht
werden.

[0053] Dabei kann das Objekt 1 von mehreren Meßköpfen
9a, 9b, 9c aufgenommen und aus den Objektstrukturen 2a,
2b gemäß den obigen Gleichungen oder mit Hilfe der Opti-
mierungsmethoden ausgewertet werden. Aus Redundan-
zgründen und wegen der möglichen Verdeckung des Objek-

strukturen 2a, 2b durch Personen oder Instrumente sind
mehrere Meßköpfe 9a, 9b, 9c im Raum angeordnet. Die
räumlichen Koordinaten des Drehpunktes 3 (Positionsvек-
tor \vec{r}_0) und die Drehlage ϕ , δ , κ des Objektes 1 können be-
züglich eines jeden Meßkopfes 9a, 9b, 9c ermittelt werden.
Da die räumliche Lage der Meßköpfe 9a, 9b, 9c untereinan-
der bekannt ist, können die Lageparameter des Objektes 1 in
ein übergeordnetes Koordinatensystem, z. B. in das Koordi-
naten-system des Patienten transformiert werden. Somit
kann dem Chirurgen die genaue räumliche Lage des Opera-
tionsmikroskopes oder der Operationsinstrumente bezüglich
des Operationsgebietes angezeigt werden. Zudem können
die Operationsinstrumente vollautomatisch geführt werden.
[0054] In Fig. 5a ist schematisch ein Objekt 1 dargestellt,
an dem ein separater Körper 1a angebracht ist. Durch die er-
findungsgemäße Vermessung und Auswertung der Objek-
strukturen 2a, 2b des Körpers 1a wird die (6-dimensionale)
räumliche Lage des Körpers 1a und somit auch die des Ob-
jektes 1 ermittelt. Vorteilhafterweise kann ein Objekt 1, das
für einen Anwendungszweck nur ungenügende Strukturen 20
aufweist, nachträglich mit einem geeigneten Körper 1a aus-
gestattet werden. Gegebenenfalls kann der Körper 1a auch
leicht wieder entfernt werden. Selbstverständlich können
auch mehrere derartige Körper 1a an einem Objekt 1 befe-
stigt sein (Fig. 5b).

Patentsprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Position und Dreh-
lage eines Objektes (1) mit bekannten Objektstrukturen
im dreidimensionalen Raum unter Verwendung eines
optischen Meßkopfes (9, 9a, 9b, 9c) mit einer Abbil-
dungs-optik (5), einem in zwei Dimensionen ortsauflo-
senden optoelektronischen Detektor (7) und einer Aus-
werteeinrichtung (8), wobei der im Gesichtsfeld der
Abbildungsoptik (5) befindliche Teil des Objektes (1)
auf den Detektor (7) abgebildet und detektiert wird und
die detektierte Bildinformation der Auswerteeinrich-
tung (8) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß
in der Auswerteeinrichtung (8) zumindest von einem
Teil des auf dem Detektor (7) abgebildeten Objektes
(1) die Lage und/ oder der Verlauf der abgebildeten Ob-
jektstrukturen (2a; 2b) auf dem Detektor (7) und deren
ortsunabhängig variierender Abbildungsmaßstab und
Verzerrung ermittelt werden und daraus zusammen mit
den Abbildungseigenschaften der Abbildungs-optik (5)
die durch Lageparameter beschriebene Position und/
oder Drehlage des Objekts (1) im Raum bestimmt wird,
wobei die Lageparameter unter Zuhilfenahme geo-metrischer
Vektorgleichungen ermittelt werden.
2. Verfahren zur Bestimmung der Position und Dreh-
lage eines Objektes (1) mit bekannten Objektstrukturen
im dreidimensionalen Raum unter Verwendung eines
optischen Meßkopfes (9, 9a, 9b, 9c) mit einer Abbil-
dungs-optik (5), einem in zwei Dimensionen ortsauflo-
senden optoelektronischen Detektor (7) und einer Aus-
werteeinrichtung (8), wobei der im Gesichtsfeld der
Abbildungsoptik (5) befindliche Teil des Objektes (1)
auf den Detektor (7) abgebildet und detektiert wird und
die detektierte Bildinformation der Auswerteeinrich-
tung (8) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß
in der Auswerteeinrichtung (8) zumindest von einem
Teil des auf dem Detektor (7) abgebildeten Objektes
(1) die Lage und/ oder der Verlauf der abgebildeten Ob-
jektstrukturen (2a; 2b) auf dem Detektor (7) ermittelt
wird und daraus zusammen mit den Abbildungseigen-
schaften der Abbildungs-optik (5) die durch Lagepara-
meter beschriebene Position und/oder Drehlage des

- Objektes (1) im Raum bestimmt wird, wobei die Lage-
parameter mit Hilfe von mathematischen Optimie-
rungsverfahren so variiert werden, daß das daraus be-
rechnete Detektorbild optimal oder zumindest hinrei-
chend gut mit der detektierten Bildinformation des Ob-
jektes (1) übereinstimmt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Objektstrukturen die geometrische
Form (2a) des Objekts (1) oder Markierungen auf dem
Objekt (1) sind.
 4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Objektstrukturen ein auf dem Objekt
(1) angebrachtes Codemuster (2b) sind.
 5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Objektstrukturen als Codemuster (2b)
auf einem mit dem Objekt (1) mechanisch verbindba-
ren separaten Körper (1a) aufgebracht sind.
 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,
daß mehrere mit einem Codemuster (2b) versehene
Körper (1a) verwendet und mit dem Objekt (1) mecha-
nisch verbunden werden.
 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (1) oder/
und der Körper (1a) rohrförmig ausgebildet sind.
 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
daß die Objektstrukturen (2a; 2b) rotations-symmetrisch
zur Längsachse des Objekts (1) oder/und des
Körpers (1a) ausgebildet sind.
 9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
daß die Objektstrukturen (2a; 2b) abwechselnd ro-
tations-symmetrisch und parallel zur Längsachse des
Objekts (1) oder/und des Körpers (1a) ausgebildet sind.
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, da-
durch gekennzeichnet, daß die Objektstrukturen (2a;
2b) spiralförmig ausgebildet sind.
 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, da-
durch gekennzeichnet, daß die Objektstrukturen (2a;
2b) vollkommen unregelmäßig, aber hinsichtlich ihrer
Lage auf dem Objekt (1) oder/und auf dem Körper (1a)
eindeutig sind.
 12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß zur Verbesserung der
Meßgenauigkeit die Ortsgrundfrequenz oder eine har-
monische Ortsoberfrequenz der von den Objektstruktu-
ren (2a, 2b) auf dem Detektor (7) erzeugten Intensitäts-
verteilung mit der Ortsgrundfrequenz der strahlungs-
empfindlichen Strukturen des Detektors (7) ein nieder-
frequentes Überlagerungsmuster bildet.
 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (1)
beleuchtet wird oder daß das Objekt (1) oder die Ob-
jektstrukturen (2a, 2b) selbstleuchtend sind.
 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig
mehrere optische Meßköpfe (9, 9a, 9b, 9c) zur räumli-
chen Lagebestimmung eines Objektes (1) oder mehrerer
Objekte (1) verwendet werden.
 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die die Position
und/oder Drehlage des Objekts (1) beschreibenden Le-
geparameter in ein übergeordnetes Koordinatensystem
transformiert werden.
 16. Anwendung des Verfahrens nach einem der vor-
hergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
das Objekt (1) ein in der medizinischen Diagnostik,
Therapie oder bei Operationen eingesetztes Hilfsmittel
ist.
 17. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 16, de-

durch gekennzeichnet, daß das Hilfsmittel ein Opera-
tionsmikroskop, ein Operationswerkzeug, ein mit einem
Patienten verbundener Rahmen oder eine Strahlungs-
quelle zur Tumorbehandlung ist.

18. Anwendung des Verfahrens nach einem der An-
sprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Ob-
jekt (1) eine Nivellierlatte ist.
19. Anwendung des Verfahrens nach einem der An-
sprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Ob-
jekt (1) ein Geschützrohr oder eine Richt- oder Radar-
antenne ist.

Hierzu 3 Seiten(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig.1

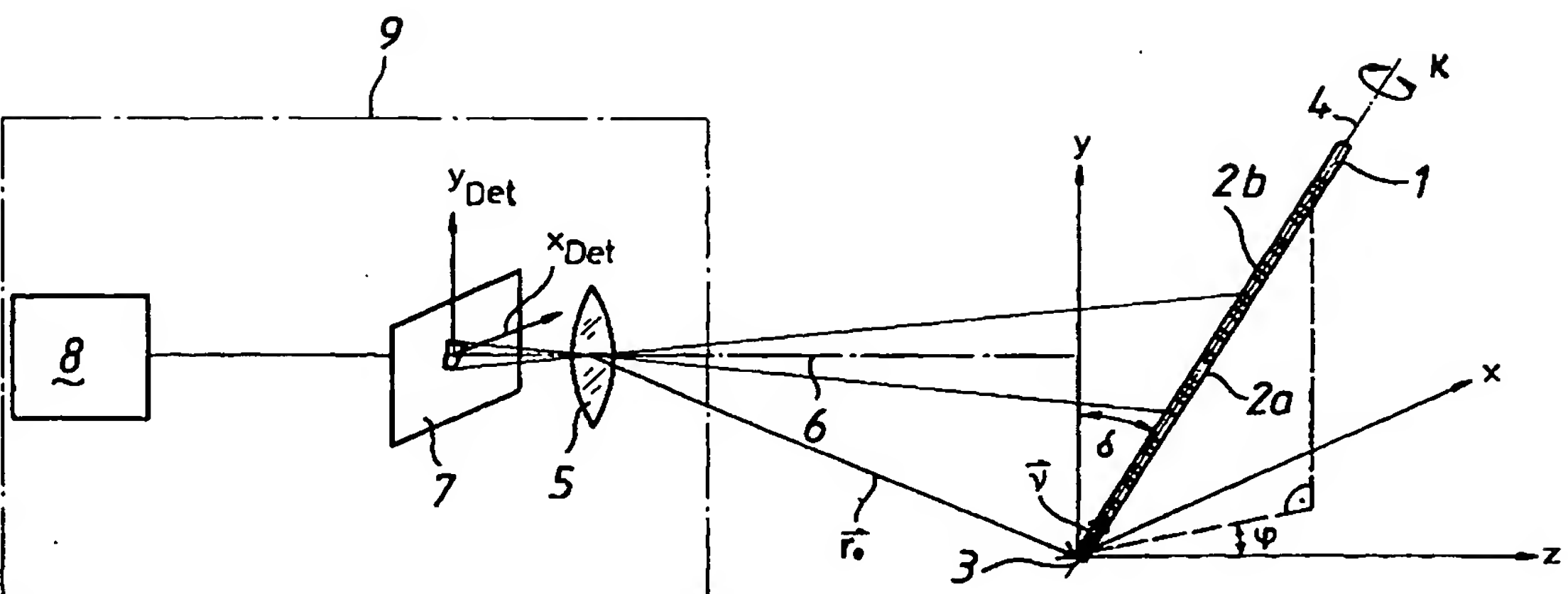


Fig.2

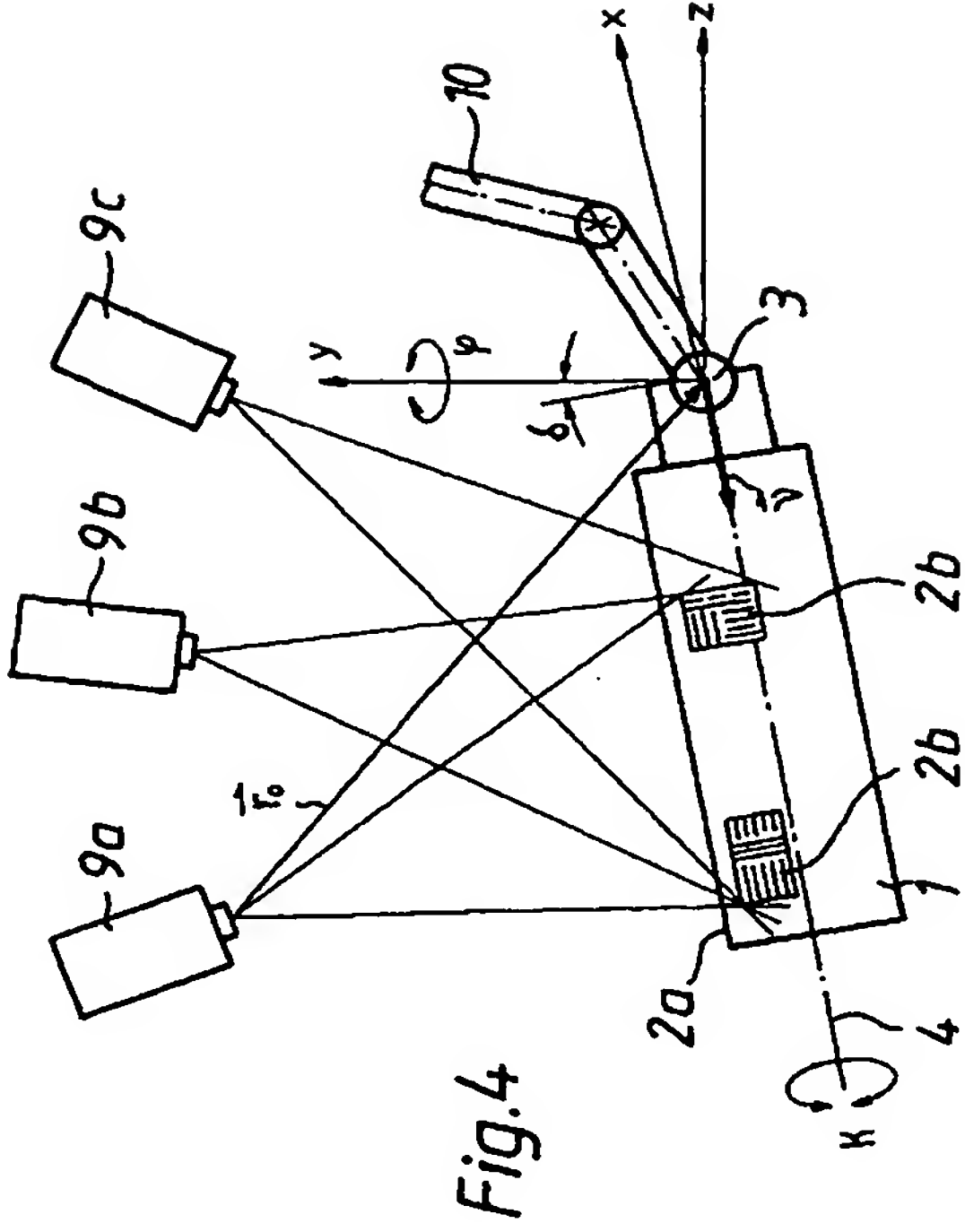
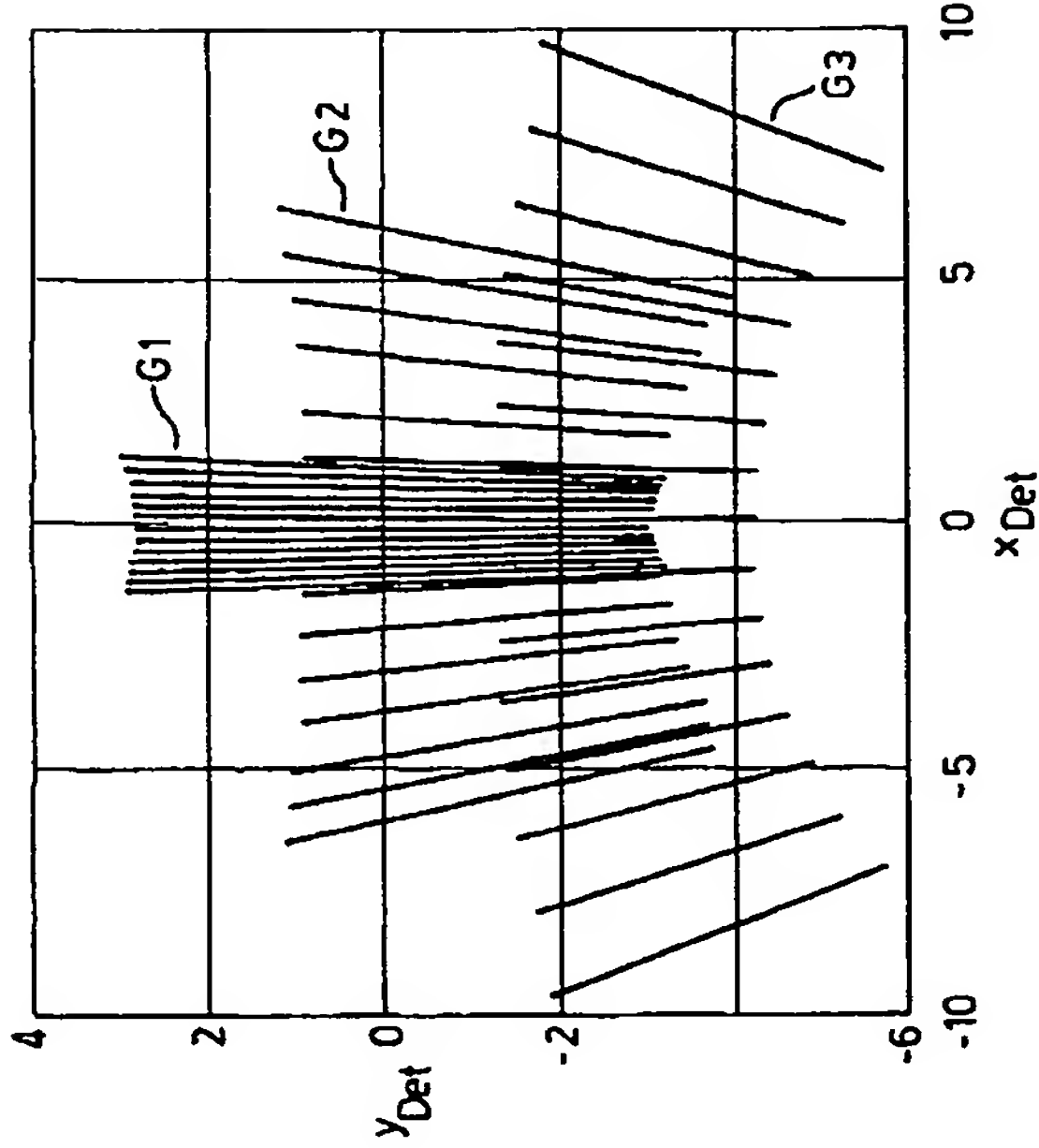


Fig.4

Fig.5a

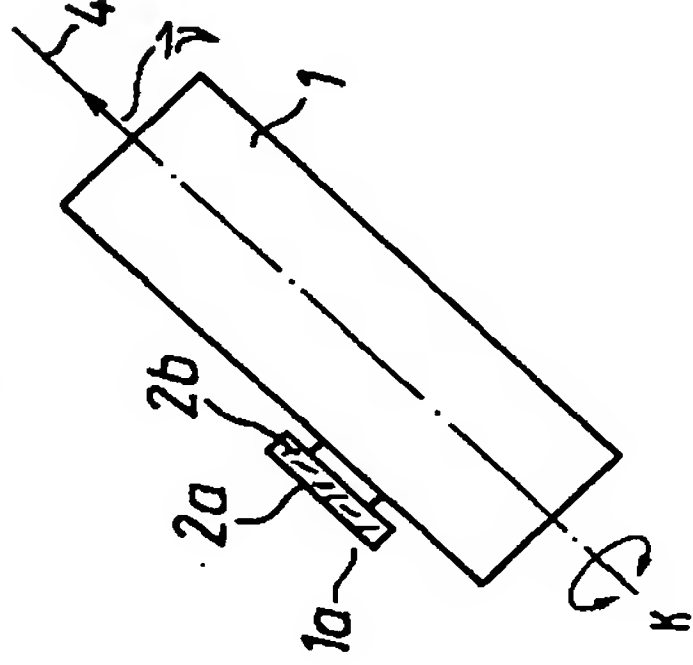


Fig.5b

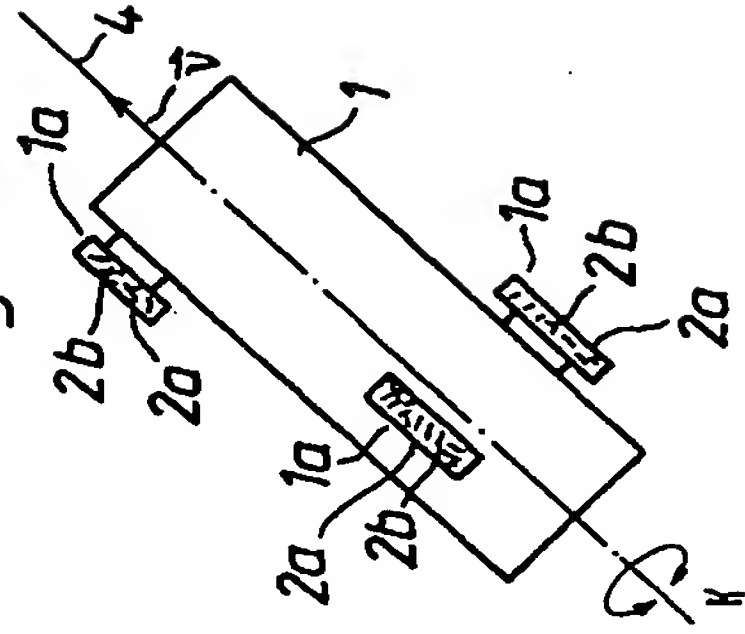


Fig.3

